

[原著論文]

佐渡の海洋深層水の農業への活用 牧草と枝豆と人参の場合

伊藤直子、山崎貴子、岩森 大、本間沙織、川上未央、堀田康雄*、村山篤子

キーワード：海洋深層水、亜鉛の農業利用、牧草、枝豆、人参

Use of deep-sea water to agriculture application to hay, soybean and carrot

Naoko Ito, Takako Yamazaki, Hajime Iwamori, Saori Honma, Mio Kawakami
Yasuo Hotta, Atsuko Murayama

Abstract

Niigata is famous from agriculture products, like rice, vegetables, fruits and dairy products, like milk and meat. Furthermore, deep-sea water and an use of it are becoming one of the target for economic promotion. Deep-sea water is pumped up from 350 meters deep, 2 kilometers off Hatano, on the Matsugasaki-shore of Sado Island. It has been used for drinking, food production and spas because it is biologically and chemically clean. However the amount of deep-sea water is rather limited and an increase in consumption is expected from various sectors. The agricultural use of deep-sea water is an example. We have found stimulation effects on hay growth in promoting the dairy industry. First, we observed the stimulation of growth in three kinds of hay plants that have higher content of zinc when supplied with desalinated deep-sea water. To reduce the cost of desalinization, we tested the use of deep-sea water diluted 50 times. Such diluted deep-sea water is usable to stimulate growth and increase content of zinc. Higher content of zinc in hay may contribute to a rise in the zinc content of soil which increases the nutritional value in Japan, where most farm-lands is deficient in zinc.

A similar use has been tried on three soybean varieties grown in Niigata, and a significant increase in zinc content of beans is observed by supplying 1/20 diluted deep-sea water or 1mM zinc chloride tap water solution, without the loss of taste and texture. Both soybeans grown in planters and in out door fields showed a similar results without reduction of harvest.

These results have been supported further using miniature carrots. When the carrots were grown in vermiculite in planters with desalinated deep-sea water, the content of zinc in the carrots increased. These results indicate that the use of Sado deep-sea water or zinc chloride solution in production of various vegetables (hay as leafy one, soybeans as seeded one and carrot as root vegetable) is a meaningful technology for the agricultural use of Sado deep-sea water together with an increase in the nutritional value of food materials.

Keyword : deep-sea water, agricultural use of zinc, hey grasses, soybean, carrot

*新潟医療福祉大学 健康栄養学科

[連絡先] 〒950-3198 新潟市島見町 1398
TEL/FAX : 025-257-4423

和文要旨

牧草（2品種）、枝豆（3品種）、人参（1品種）を1/20希釈海洋深層水、1mM水溶液、脱塩海洋深層水を与えて、プランター又は野外で栽培して、牧草については葉、枝豆については種子、人参については根の亜鉛含量を測定した。対照は、水道水で栽培したものである。総ての実験区で対照区より乾燥重量当たりの亜鉛含量が増加し、外見・味や食感に変化は無しに、食品の栄養価を高めた。佐渡海洋深層水の農業への利用の可能性を示し、亜鉛含量が低い我国土壌の改良とそこから生産される作物が健康に貢献する可能性を示した。

はじめに

佐渡海洋深層水の利活用は、次第に市場が広がっている¹⁾とはいえ、更に大量の利用が期待されている。佐渡海洋深層水は化学汚染も生物汚染も無い清浄海水で、他の深層水と比較して亜鉛含量が多い²⁾のが特徴である。日本の土壌の亜鉛含量は相対的に低く、従って育つ植物、それを食べて生長する動物にも亜鉛が不足し易い。例えば牛乳や鶏卵の亜鉛含量は他国のものに比べて低いとされている。この食物連鎖の末端に位置する日本人の栄養性貧血の場合に、治療には鉄のみでなく、亜鉛を投与することで効果が上がる。それ程、食物から吸収される亜鉛が少ない。

健康のため佐渡海洋深層水を使って、植物性食材の亜鉛濃度を高める試験を行った。更に、亜鉛の増加によって味・風味などに変化が無いかどうかを示すため1mM塩化亜鉛水溶液を与え、亜鉛含量をより高くし、食材の官能評価を行った。結果は佐渡海洋深層水を与えた場合も1mM塩化亜鉛水溶液を与えた場合も、試験作物の生長は良好、亜鉛含量の顕著な増加と多少の甘味増加が見られた。この結果は稲（米）で認められた成果³⁾を相互に支持している。

試料及び方法

佐渡海洋深層水は、佐渡市畑野のポンプステーションより供給された原液と脱塩水を使用した。表層水は、同地の海水の表層より採取したものをを使用した。亜鉛は関東化学(株)1級の塩化亜鉛(4200円/kg)を使用した。

試験材料は、牧草（スーダングラス、トウモロコシ）、枝豆（新小平方茶、白色グリーン、丹波黒）の種子は、北越農事(株)より提供を受けた。人参（ミニキャロット）の種子は市販のものをを使用した。

表1. 牧草の亜鉛含量

	トウモロコシ		スーダングラス	
	乾燥量 / 生量	亜鉛含量 / 乾量	乾燥量 / 生量	亜鉛含量 / 乾量
佐渡脱塩海洋深層水	7.9g/100g	96.5mg/kg	9.6g/100g	123.0mg/kg
1 m M ZnCl ₂	7.9g/100g	657.0mg/kg	10.7g/100g	858.0mg/kg
水道水 (対照)	8.3g/100g	75.2mg/kg	9.6g/100g	86.2mg/kg

栽培条件：

牧草は30×13×14 (cm) のプランターに入れたバーミキュライトに10グラム程度の種子を播き、室内で葉丈15-30 cmまで育成した。照明は15時間程度、給水には水道水、1mM塩化亜鉛、1/10及び1/50希釈の海洋深層水、又は同希釈の表層水を用いた。

大豆は50×20×30 (cm) のプランターに、市販の腐葉土・バーミキュライトを入れ、種子3粒ずつを3箇所に播種し、屋外で育成した。一部は豊栄市横井の枝豆育成農地の一部を借りて、育成した。

肥料はプランター育成のもののみ、市販8×8×8×8化成肥料を用いた。播種時期、収穫は新潟市東部で一般に行われているものに従った。

人参は50×20×30 (cm) のプランターに14リットルの栽培用土を入れたものを用い、2列に播種した。プランターは屋外に置いたが、台風などの悪天候時には屋内に入れた。脱塩海洋深層水、1mM塩化亜鉛水溶液、水道水を適宜灌水した。生長に伴って必要に応じて間引きを行った。

生鮮重量は、大豆、米の場合は、種子を室温で1週間放置し、重量減少が恒量となったところで測定した。牧草、枝豆、人参の場合は、収穫後直ぐに重量を記録した。

食味、食感を評価するための枝豆、玄米、人参は、一般家庭で行われる調理法、茹で、炊飯、煮るで調理し、12名の本学科教員により官能検査を行った。

亜鉛の定量分析はICP発光分析 / 原子吸光度法³⁾で測定、乾燥重量は減圧加熱(105℃)乾燥した後、室温で測定した(日本食品分析センター、東京)。

結果及び考察

牧草として家畜に供せられるトウモロコシとスーダングラスを25週間生育させた。生育後、外見上の草丈は灌水の種類による差は見られず、トウモロコシでは草丈凡そ15cm、スーダングラスでは凡そ10cmであった。葉の色調や硬さにも差は認められなかった。生長量の指針としての乾燥減量と、亜鉛含量を測定した(表1)。生鮮重量当りの乾燥重量は殆ど差が見られないが、亜鉛含量については大きな差が見られ、特に1mM塩化亜鉛溶液を供給した時には、水道水区と比較しほぼ10倍の亜鉛の蓄積が見られた。この時、葉のホモジェネートの味に多少甘味が多いと感じられたが顕著な変化は感知できなかった。然し、マイナスの味(苦味、渋みなど)や硬さは無かった。牧草

表2. 深層水と表層水の牧草の亜鉛強化の比較 (乾燥重量 1 kg 当たり)

	トウモロコシ	スーダングラス
深層水 1/10	76.5mg	72.3mg
1/50	85.9mg	68.3mg
表層水 1/10	61.1mg	56.9mg
1/50	76.8mg	71.3mg
1mM ZnCl ₂	730mg	858mg
水道水	67.5mg	58.7mg

表3. 枝豆の亜鉛含量 (乾燥重量 1 kg 当たり)

	白色グリーン	新小平方ブラウン	丹波黒
深層水 (1/50) 希釈	490mg	588mg	395mg
表層水 (1/50) 希釈	366mg	502mg	362mg
1mM ZnCl ₂	1110mg	1170mg	1120mg
水道水	280mg	440mg	280mg

としての品質は向上したと予測できる。

佐渡の海洋深層水は清浄で飲料・食用には適した深層水であるが、購入に費用が必要である。これに対し、表層水は殆ど費用が要らないが汚染の可能性が高い。深層水を利用する意味は、生物的、化学的汚染が殆ど無いか少なく、長期保存 (室温で3年間の保存テストで濁度、pHの変化、微生物の発生は検出できなかった) が可能である点にある。然し、深層水を大量に或いは長期間作物に供給した場合、土壌の生物フロアの変化に注意せねばならない。表2の如く、希釈した深層水と表層水の植物体への蓄積を比較すると、深層水のほうが亜鉛の供給源としては優れている。その理由として、土壌の生態系の変化か、深層水の亜鉛含量が表層水に比べて高いからか、或いは表層水のイオンバランス、例えば或る特定の2価イオンが非常に高濃度になると、他のイオンの吸収が阻害される事があり、その様な変動の影響なのかは問題として残されている。深層水ではこのような変動が無いので、深層水活用の利点がある。

枝豆は新潟県特産品目の一つであり、窒素固定を行う重要な畑作物である。枝豆の亜鉛含量を高めて栄養価と商品価値を上げる目的で、佐渡の海洋深層水 (1/50 希釈) と1mM 塩化亜鉛水溶液を灌漑に用いた。収穫した枝豆の亜鉛含量を表3に示した。3品種共に同じ様な傾向で、水道水に比べて1/50 希釈深層水では、約1.5倍の亜鉛の増加、1mM 塩化亜鉛溶液により3倍以上の増加が見られた。

枝豆の収穫量は水道水と1mM 塩化亜鉛との間に、豆粒の数、莢の数共に差が見られなかった。

収穫した枝豆の味にも官能検査上の差は無かった。1/50 希釈の海洋深層水を散布したのものとも、収量・味ともに差は見られず、特徴としては豆中の亜鉛含量の増加だけであった。

人参を脱塩処理した海洋深層水 (亜鉛含量 0.45 μ M)、1mM 塩化亜鉛水溶液、水道水で生長させると、収穫時

食用部1キログラム当たりの亜鉛含量は、水道水は0.8mg、深層水は11.4mg、亜鉛区は15.7mgであった。亜鉛区は水道水の約2倍の、深層水では1.4倍の増加があり、人参の栄養価を高める事が出来た。これら高亜鉛含量を示した人参は、甘味が強く感じられた⁵⁾。

海洋深層水を与えることで、葉 (牧草)、根 (人参)、種子 (枝豆) の亜鉛含量を高め、栄養的価値を高める事が出来た。塩化亜鉛水溶液 (1mM) を与える事で更にこれらの試料の亜鉛含量を高める事ができた。どちらもコストは安価であり、農業に利用して食材の価値を高める事ができる。

然し、水田や土壌に習慣的に供給されていた水の代わりに海洋深層水などイオンの豊富な水を与えた場合には、それによって土壌中の細菌や原生動物のフロアに変化が起きるかもしれない。原生動物には細菌捕食性のものがあり、これによって細菌のバイオマスが低く抑えられ、窒素の無機化が促進され、作物の生長を促進する。また原生動物-細菌共生系がホルモン様物質を分泌して、根系を改良して、根のみならず地上部の生長を促進するとする知見もある⁵⁾。海洋深層水の利用と土壌の改変の関係は調査の対象である。

亜鉛は生物の必須微量元素であり、骨格、皮膚、内臓器官の発育、免疫、味覚嗅覚、精神行動の機能に不可欠である⁶⁾。生殖機能の発達維持に関与する事も古くから注目されている。人体中の亜鉛は体重70kgの人に14-23g存在する。これは鉄の1/2、銅の10-15倍、マンガンの約100倍に相当し、鉄について含量の多い微量元素である。細胞内では細胞質に多くミトコンドリア内では、そのエネルギー生産に不可欠である。チトクロームCオキシダーゼ、活性酸素消去に働くスーパーオキシドディスムターゼ、核酸やたんぱく質合成、細胞分裂に必要な酵素に含まれて

いる。

成人の骨の代謝にも zinc-finger 蛋白質が働いている⁷⁾。

大麦では 1.6 mM 亜鉛溶液で栽培しても生長阻害は見られず、細胞への亜鉛の蓄積が起こる。Arabidopsis では細胞膜の P 型 ATPase グループの AtHMA4 による亜鉛の排出が報告されている⁷⁾。ATPase は根で吸収した亜鉛を維管束に送り込み茎や葉への亜鉛の輸送に貢献している。もし機能が重複している AtHMA2 と AtHMA4 が変異すると、亜鉛が生長の必須要素となる。このような状態は、普通の濃度の亜鉛では、亜鉛の吸収と茎や葉への輸送が低下することから起こる問題で、生長阻害の一因となる。

多くの zinc-finger 型タンパク分子で、亜鉛は分子の中でも蛋白質の活性化に必要な重要な位置を占めている。農業土壌として豊かでない土地でも生産できる産物の栄養と市場価値を高めるために微量栄養素 (micronutrients) が注目されている。特に海岸近くの農地では海水に含まれる無機イオンが注目できる。亜鉛や鉄、マグネシウム、マンガン不足は植物の生産を抑え、その栄養価も低くする。これらイオンの吸収はそれぞれのイオントランスポーター (transporter) が存在し、鉄は IRT1 トランスポーター蛋白質によって吸収・輸送が行われる。この遺伝子 DNA を変換して、鉄と亜鉛の吸収を高め、カドミウムの吸収がなくなるトランスポーターが作成された (Mary Lou Guerrinot 私信)。この遺伝子導入により生産される植物は、貧血が多い地区 (世界では 4.5 億人の貧血患者の存在が推定されている) の栄養と健康に資する他、発展途上国の 40-50% の子供が亜鉛の不足による知能の発達に遅れに見舞われているのを救う事が可能である。微量栄養素の供給に最適なのは海洋深層水である。

亜鉛は気体でない限り生体への毒性は無いとされている。然し過剰の亜鉛が毒性を示す研究もある。亜鉛が植物に致死性を示す濃度は 0.01-0.03% (w/w) とされている⁹⁾。このような過剰な亜鉛は欠乏の場合と同様に、植物に、細胞の膜構造にある S H 酵素の酸化を促進しクロロシス (退緑 = 葉緑体の崩壊)、茎・根の伸長阻害を起こす。また、ATPase の不活性化などの酵素活性調節にも影響を与える。逆に適切な濃度ではそれらの SH 基の酸化を抑えるように働く⁸⁾。亜鉛と植物の生長と酸化ストレスに関しては優れた総説がある⁹⁾。

佐渡の海洋深層水で栽培された植物が多くの亜鉛を含むことは、これらの植物を餌とする家畜や、食用とする人の健康の維持、貧血などの病気の治療 (酸化亜鉛の投与、2400/kg) に貢献する。食品としての品質評価では、マイナス点が無い。顕著な差ではないが、感覚的に甘味の増加が総ての亜鉛含量が増加した試料総てに認められた。甘味物質の定性と定量分析が残された問題である。

謝辞： 本研究は、一部、新潟県産業振興課 委託研究費補助金で行われた。佐渡海洋深層水利活用組合、小川猛氏、後藤康吉氏、と内山雅彦氏 (新潟産業想像機構) の御配慮に感謝します。

引用文献

- 1) Niigata 佐渡海洋深層水利活用計画の概要. (新潟県) (2003)
- 2) 小川 猛, 藤本隆則: 日本海固有水の水質特性について. (財) 新潟県環境地質研究所年報一成分分析結果報告. (2002)
- 3) 伊藤直子, 山崎貴子, 岩森大, 堀田康雄, 村山篤子: 佐渡海洋深層水の稲作への利用. 新潟医療福祉学会誌 6: 000-xxx (2006)
- 4) 川上未央, 本間沙織: 海洋深層水のニンジンの栄養成分に対する効果. 新潟医療福祉大学健康栄養学科卒業論文 (2006)
- 5) Marschner, H.: Mineral Nutrition of higher Plants. 2nd ed. Academic Press, London (1995)
- 6) 村瀬 潤: ドイツで学んだ水田土壌微生物. 化学と生物 44: 640-644 (2006)
- 7) Jones, D.C. et al: Regulation of adult bone mass by the zinc-finger adaptor protein Schnurri-3. Science 312: 1223-1227 (2006)
- 8) Hussain D, Haydon MJ, Wang Y, et al: P-type ATPase heavy metal transporters with roles in essential zinc homeostasis in Arabidopsis. Plant Cell 16: 1327-1339 (2004)
- 9) Cakmak, Ismail: Tansley review No.11, Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytol. 146: 185-205 (2000)